

# Variabilità climatica e ricorrenza delle calamità idrogeologiche in Puglia

POLEMIO MAURIZIO  
CNR IRPI, Bari  
e-mail: m.polemio@ba.irpi.cnr.it

LONIGRO TERESA  
CNR IRPI, Bari

## RIASSUNTO

Il contributo si basa sull'analisi di diversi tipi di dati, elaborati fino a costituire serie storiche mensili inerenti il clima (pioggia, temperatura, giorni piovosi e intensità di pioggia) dal 1877 al 2008. Nonostante la tendenza al calo della piovosità e dell'intensità di pioggia e all'incremento della temperatura e dei giorni piovosi, si osserva la crescente ricorrenza di piene e frane, a conferma della crescente antropizzazione di aree a pericolosità idrogeologica.

La discussione delle relazioni clima-frane ha evidenziato delle limitazioni ragionevolmente dovute al concentrarsi delle frane in parte del territorio e alla minore qualità del dato storico.

## INTRODUZIONE

Recenti ricerche internazionali hanno posto in evidenza una sempre più marcata e preoccupante variazione climatica, che si evidenzia in un aumento graduale, ma costante, delle temperature ed in una variata distribuzione delle precipitazioni, le quali si concentrano in alcuni periodi dell'anno, assumendo spesso un carattere di eccezionalità per quanto riguarda la loro intensità (EEA 2008). Conseguenze evidenti di tali variate condizioni climatiche sono i periodi di siccità, il progressivo inaridimento dei terreni, l'impovertimento delle risorse idriche e l'aumento di fenomeni di dissesto idrogeologico.

Anche il territorio dell'Italia meridionale, della Puglia in particolare, risente delle variazioni climatiche, subendo rilevanti effetti in termini di calo di disponibilità di risorse idriche (Polemio & Casarano 2008). Per lo stesso territorio ci si pone l'obiettivo di discutere se esistano, e quali siano, le relazioni tra le variazioni climatiche e l'occorrenza di fenomeni di dissesto idrogeologico, in particolare frane e piene. A questo fine sono stati costituiti due diversi database, uno climatico, relativo ai dati mensili inerenti pioggia, giorni piovosi, intensità di pioggia e temperatura, ed un altro inerente gli eventi idrogeologici dannosi. Ciò permette di definire il trend dei parametri climatici, di frane e piene catastrofiche e di incrociare la discussione delle diverse serie storiche.

## INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

La Puglia si estende per circa 20.000 km<sup>2</sup> dei quali il 54,2% è pianeggiante, il 44,4% collinare e solo l'1,4% risulta montuoso. I rilievi si concentrano soprattutto nel Subappennino dauno, dove la massima quota raggiunge i 1.152 m s.l.m. (M.te Cornacchia) e nel Gargano (M.te Calvo, 1056 m s.l.m.). Dal punto di vista amministrativo la regione è suddivisa in 6 province (compresa la neonata provincia BAT) e 258 comuni.

Da est verso ovest è possibile riconoscere tre diversi domini geologici, legati alla fase orogenetica appenninica: l'avampaese, l'avanfossa e la catena, che nel nostro territorio prendono il nome rispettivamente di Avampaese Apulo, Fossa Bradanica e Catena Appenninica meridionale (Fig. 1).

L'Avampaese rappresenta la porzione stabile di tutto il sistema orogenetico, la zona verso cui vergono tutte le strutture appenniniche ed è costituito essenzialmente da sedimenti carbonatici di piattaforma depositatisi durante il Giurassico superiore - Cretaceo. Affiora nel Promontorio del Gargano, nell'altopiano delle Murge e nel Salento (Ricchetti et al. 1988). È rappresentato da calcari micritici,

ci, con un contenuto fossilifero abbastanza elevato. La successiva emersione della piattaforma carbonatica è testimoniata da forme di incisione fluviale (lame, forre e gravine) e da forme tipiche del carsismo (doline, grotte e cavità sotterranee).

Spostandosi verso est si incontrano i depositi clastici plio - pleistocenici di riempimento della Fossa Bradanica, in trasgressione sui termini carbonatici di piattaforma; il ciclo di sedimentazione completo comprende calcarenite, argille, sabbie e conglomerati (Casnedi 1988).

In corrispondenza del Subappennino dauno si rinvencono termini ascrivibili alla Catena Appenninica; questi sono costituiti essenzialmente da depositi marini e terrigeni prevalentemente di natura carbonatica, appartenenti ai diversi bacini di sedimentazione pre-orogenetici (D'Argenio et al. 1973). Le spinte tettoniche hanno poi impilato i sedimenti che oggi risultano caotici e fortemente tettonizzati; inoltre risultano avere scarse proprietà geotecniche e non stupisce quindi il fatto che la maggior parte dei dissesti di versante si verifichi proprio in corrispondenza di tale area.

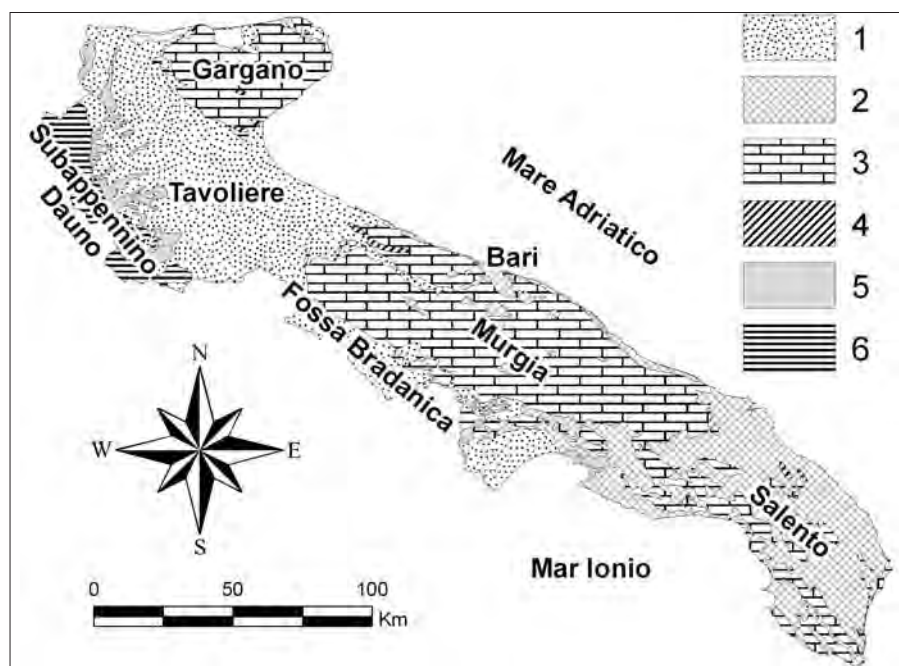


Figura 1 – Carta geologico-tecnica della Puglia. 1 - Argille sabbiose, sabbie argillose, sabbie e ghiaie; 2 - Sabbie, limi, calcareniti, calcari e dolomie; 3 - Calcari e dolomie; 4 - Calcareniti ed arenarie; 5 - Argille marnose; 6 - Flysch calcareo marnoso.

## IL DATABASE CLIMATICO E GLI INDICI SINTETICI

Il database climatico a disposizione del Cnr – Irpi comprende i dati relativi a precipitazioni, temperature e giorni piovosi rinvenuti dagli Annali Idrologici e relativi agli anni 1919 – 1996. Tale database è stato integrato con dati storici precedenti a quelli reperibili dagli Annali, consultando alcune pubblicazioni del Prof. Eredia, dai quali è stato possibile risalire fino al 1877. I dati più recenti (fino al 2008) sono stati forniti dal Centro Funzionale del Servizio di Protezione Civile della Regione Puglia.

Per questa nota sono stati utilizzati dati mensili di temperatura  $T$ , pioggia  $P$  e giorni piovosi GP (giorni in cui la pioggia è maggiore o uguale ad 1 mm). Per quanto riguarda i giorni piovosi bisogna precisare che dal 1920 gli Annali riportano, nel conteggio del numero totale dei giorni piovosi dell'anno, solo il numero di giorni nei quali si è accumulata una quantità di pioggia uguale o superiore ad 1 mm. I dati storici precedenti al 1920 considerano nel totale, invece, anche i giorni di pioggia durante i quali si è misurata una quantità di pioggia inferiore ad 1 mm. Per rendere confrontabili tali grandezze è stata effettuata una specifica correzione statistica sui dati precedenti il 1920.

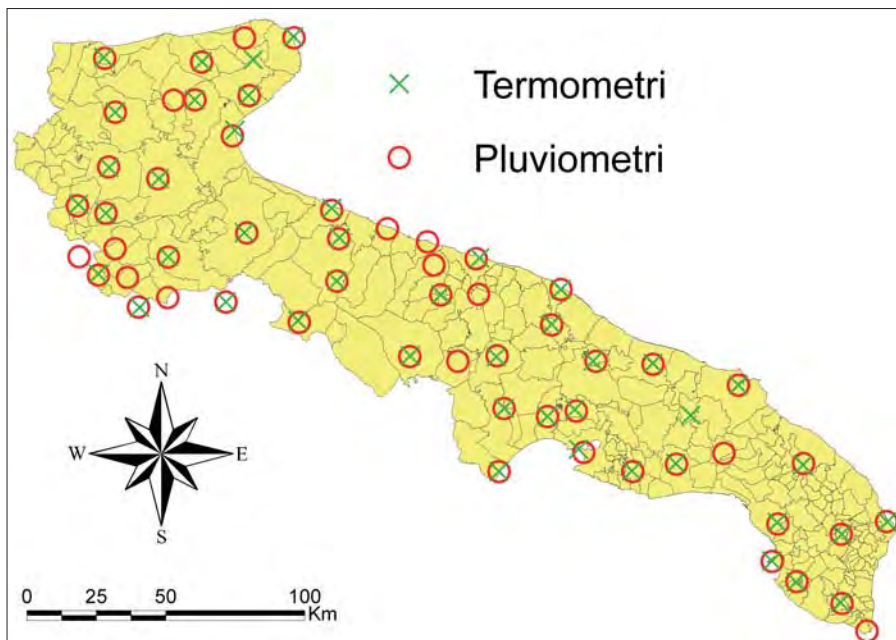


Figura 2 – Stazioni termopluviometriche.

Dal dataset sono state selezionate 60 stazioni pluviometriche localizzate su tutto il territorio pugliese, di cui 47 dotate anche della strumentazione per la misurazione della temperatura, selezionate con il criterio di minimizzare le lacune ottimizzando la densità delle stazioni (Fig. 2). Infatti le migliori serie storiche sono quelle che, con il minor numero

di lacune possibili, coprono un arco temporale maggiore.

Per ciascun mese e stazione è stata inoltre calcolata l'intensità  $I$  di precipitazione dei giorni piovosi (in seguito intensità di pioggia) come rapporto tra la pioggia mensile  $P$  ed il numero di giorni piovosi GP. Nel seguito ci si riferisce sempre all'anno idrologico, che

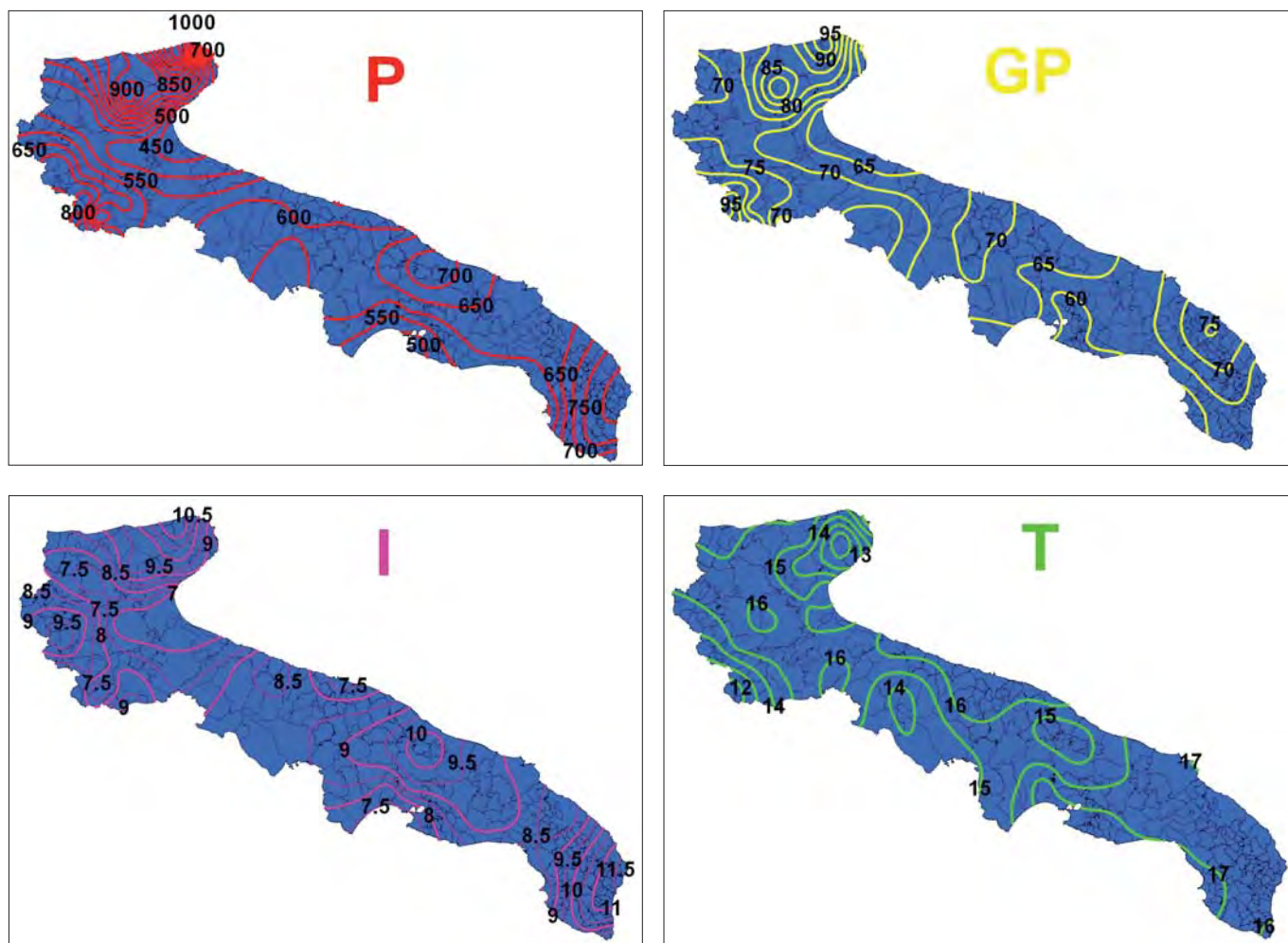


Figura 3 – Mappe dei valori medi annui (1877-2008) di: piovosità annua ( $P$ , mm), numero di giorni piovosi ( $GP$ ), intensità della piovosità giornaliera ( $I$ , mm/giorno) e temperatura ( $T$ , °C).

si estende da settembre del medesimo anno solare ad agosto di quello successivo.

Per ciascuno dei parametri climatici prima menzionati (P, GP, I e T) sono state prodotte delle mappe relative ai valori medi annui dell'intero periodo considerato (1877 – 2008) (Fig. 3).

Per ridurre il problema spazio-temporale della caratterizzazione delle modificazioni climatiche e degli effetti sulla ricorrenza di calamità idrogeologiche, sono stati definiti indici climatici sintetici, ciascuno dei quali costituisce una serie temporale (Polemio & Petrucci 2010). L'indice di piovosità mensile, bimestrale, e ...  $IP_1(z)$ ,  $IP_2(z)$ , ...,  $IP_m(z)$ , con  $m=1, 2, \dots, 12$ , è definito dalla relazione:

$$IP_m(z) = \frac{\sum_{j=z-m}^z \sum_{i=1}^n PM_{i,j}(z)}{\sum_{j=z-m}^z \sum_{i=1}^n PMM_{i,j}(x)} 100 - 100 \quad (1)$$

in cui  $x$  è il mese dell'anno medio (da 1 a 12, a partire da settembre),  $z$  rappresenta il numero di posizione del mese considerato, iniziando da settembre del 1918,  $PM_i$  è la pioggia mensile alla stazione  $i$  e  $PMM_i$  è la pioggia mensile media della stazione  $i$ , con  $i=1, 2, \dots, n$ , dove  $n$  è il numero delle stazioni disponibili nel mese  $z$ .  $IP_m(z)$  considera i valori di pioggia rilevati nel mese  $z$  e in  $m-1$  mesi precedenti, dove  $m$  è la durata dell'indice considerato. Usando questo indice adimensionale, un'unica serie temporale di pioggia può essere considerata per l'intera area di studio. Sostituendo a P, G, I e T si ottengono analoghi indici per i restanti parametri; tali indici possono variare in un ampio intervallo di valori in cui i valori negativi indicano piovosità (temperatura, ...) inferiore alla media nell'intera area, mentre valori positivi indicano il contrario (per una discussione più approfondita degli indici si rimanda a Polemio & Petrucci 2010). Se  $m=12$  l'indice diviene annuale e lo si denomina  $Py$ ,  $Gy$ , ...

## IL DATABASE SUGLI EVENTI DI DISSESTO IDROGEOLOGICO

La fonte principale dei dati riguardanti piene e frane che abbiano causato danni in Puglia è il database AVI (CNR-GNDCI 1999;

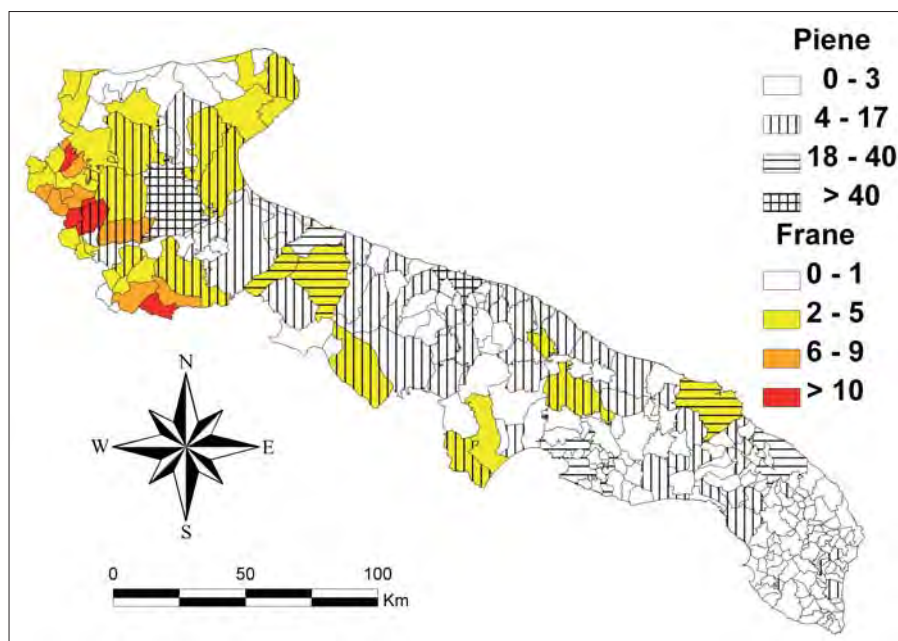


Figura 4 – Ricorrenza comunale di piene e frane (1918-2006).

Petrucci & Pasqua 2008), utilizzato per il periodo 1918-1996. Tale fonte è stata integrata per il periodo successivo, fino al 2006, attraverso la consultazione di quotidiani, pubblicazioni e relazioni tecniche in possesso dell'Istituto. Sul territorio pugliese sono stati individuati 926 eventi di piena e 237 di frana (il primo evento di frana è del 1928). Per ciascun comune sono state costituite le serie storiche mensili degli eventi di piena e di frana; per semplice somma sono state determinate le analoghe serie storiche regionali. Tali dati sono stati riportati in ambiente GIS ed è stato quindi possibile ottenere le mappe di distribuzione degli eventi (Fig. 4).

Analogamente a quanto fatto per i dati climatici, anche per le frane e le piene sono stati calcolati gli indici relativi a 1, 2, ... e 12 mesi, e quello relativo a ciascun anno idrologico (indice  $Ay$  per le piene o alluvioni e  $Fy$  per le frane).

Da un'analisi della mappa della distribuzione regionale degli eventi, si nota che gli eventi di piena sono diffusi su tutto il territorio, mentre i movimenti franosi sono localizzati soprattutto nella zona del Subappennino

dauno, dove le caratteristiche geologiche, morfologiche e geotecniche favoriscono fenomeni di instabilità dei versanti.

## ANALISI DEI DATI E CONCLUSIONI

Considerando l'anno idrologico medio, è stato tracciato il regime delle componenti climatiche e degli eventi di frane e piene (i valori relativi a questi ultimi sono stati amplificati per permettere un confronto più diretto con le altre variabili).

Nell'anno medio il picco delle piene si osserva a settembre (1,73 eventi), mentre tra settembre e novembre, quando le precipitazioni sono abbondanti e di maggiore intensità, si concentra il 50% del totale, pari a 10,4 piene dannose ogni anno (Fig. 5). Il picco della franosità si osserva a gennaio (0,2 eventi), subito dopo il mese di massima piovosità; da dicembre a febbraio si verifica il 61% del totale delle frane, in media pari a tre l'anno. Il massimo mensile di piene è di 29 eventi (settembre 2006); quello delle frane è 61, osservato a gennaio 2003. Per quanto riguarda gli indici climatici, risulta buona la correlazione nell'anno medio tra intensi-

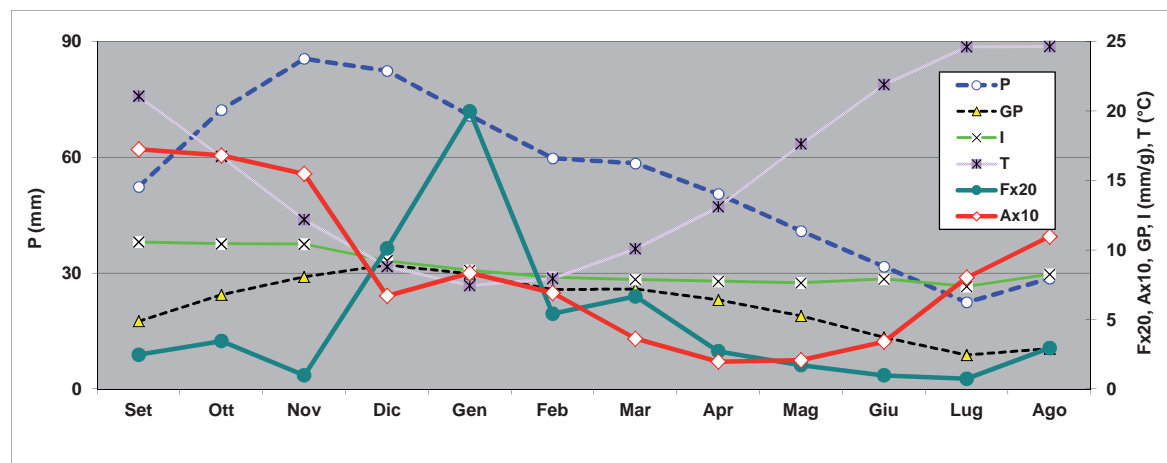


Figura 5 – Regime climatico e dei dissesti. P) Piovosità, GP) Giorni piovosi, I) Intensità di pioggia, T) Temperatura, F) Numero di frane e A) Numero di piene.



tà (massima a settembre), secondariamente piovosità, e piene.

In seguito è stato svolto uno studio statistico riguardante tutti i parametri considerati e si è notata una correlazione diretta

tra piogge, intensità, giorni piovosi e piene ed una correlazione di tipo indiretta o inverso nel caso della temperatura. Il massimo della correlazione si ottiene nel caso della piovosità (Tabella 1).

**Tabella 1 – Coefficiente di correlazione tra gli indici annuali di piene (Ay), frane (Fy), precipitazioni (Py), giorni piovosi (Gy), intensità di pioggia (Iy) e temperatura (Ty)**

CORRELAZIONE						
	Ay	Fy	Py	Gy	Iy	Ty
Ay	1,0					
Fy	0,1	1,0				
Py	0,4	0,1	1,0			
Gy	0,3	0,2	0,8	1,0		
Iy	0,2	-0,0	0,6	0,1	1,0	
Ty	-0,2	0,3	-0,0	-0,1	0,0	1,0

L'analisi, ripetuta per periodi cumulati fino a 5 anni, ha dato risultati poco variabili.

Per quanto riguarda le frane, la correlazione con gli indici climatici è risultata sempre diretta e in genere più bassa rispetto a quella osservata per le piene. Precedenti esperienze maturate per regioni meridionali a diffusa ed elevata franosità, mostrano che le variabili climatiche considerate sono in genere ben correlate con la ricorrenza delle frane (Polemio & Sdao 1996; Polemio & Petrucci 2010). Il tipo di risultato emerso per la Puglia dipende principalmente dal concentrarsi delle frane nella provincia di Foggia, in particolare nell'Appennino dauno, mentre gli indici climatici, per definizione, sono riferiti all'intero territorio regionale. Secondaria-

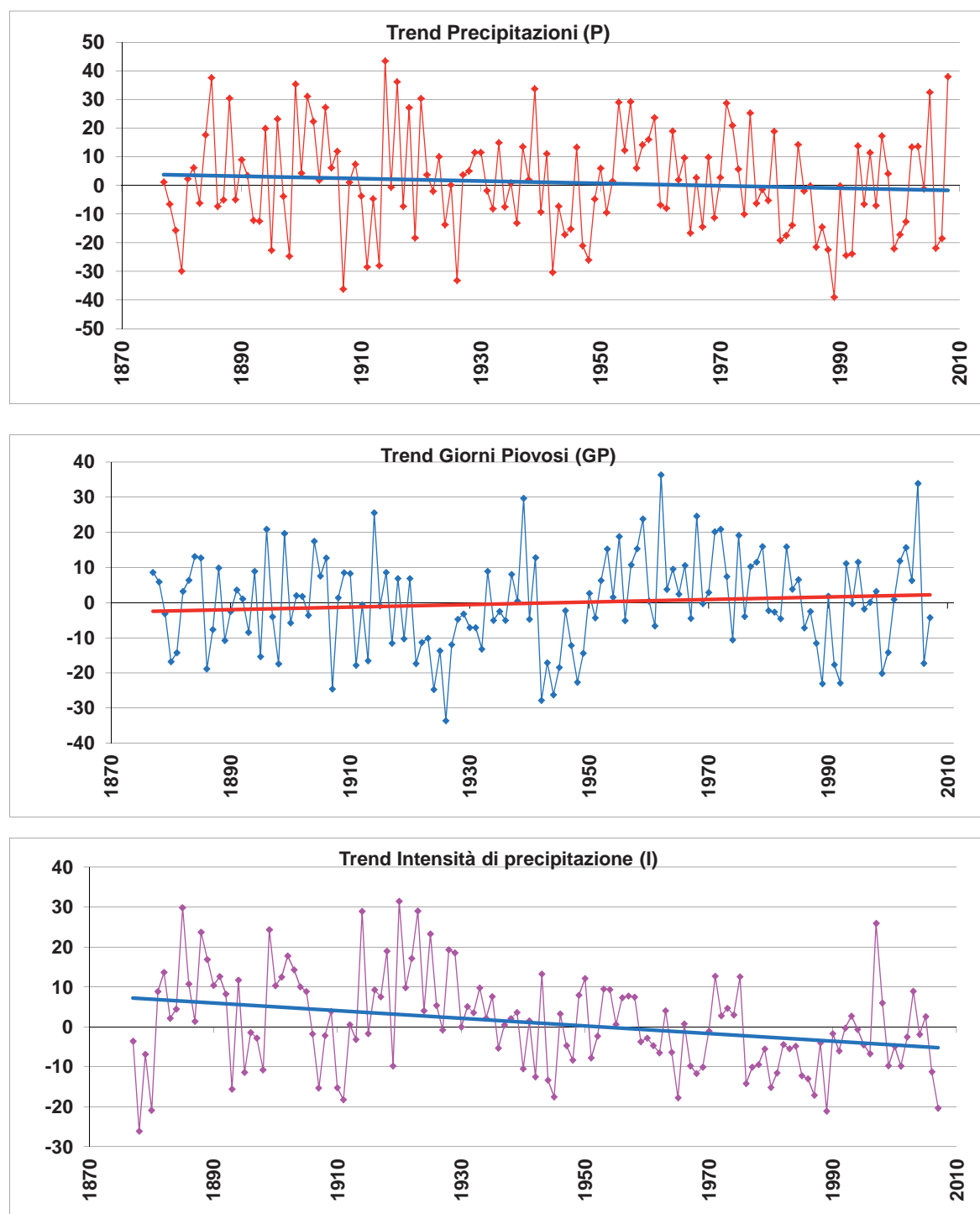


Figura 6 – Trend climatici relativi a: P, GP e I.

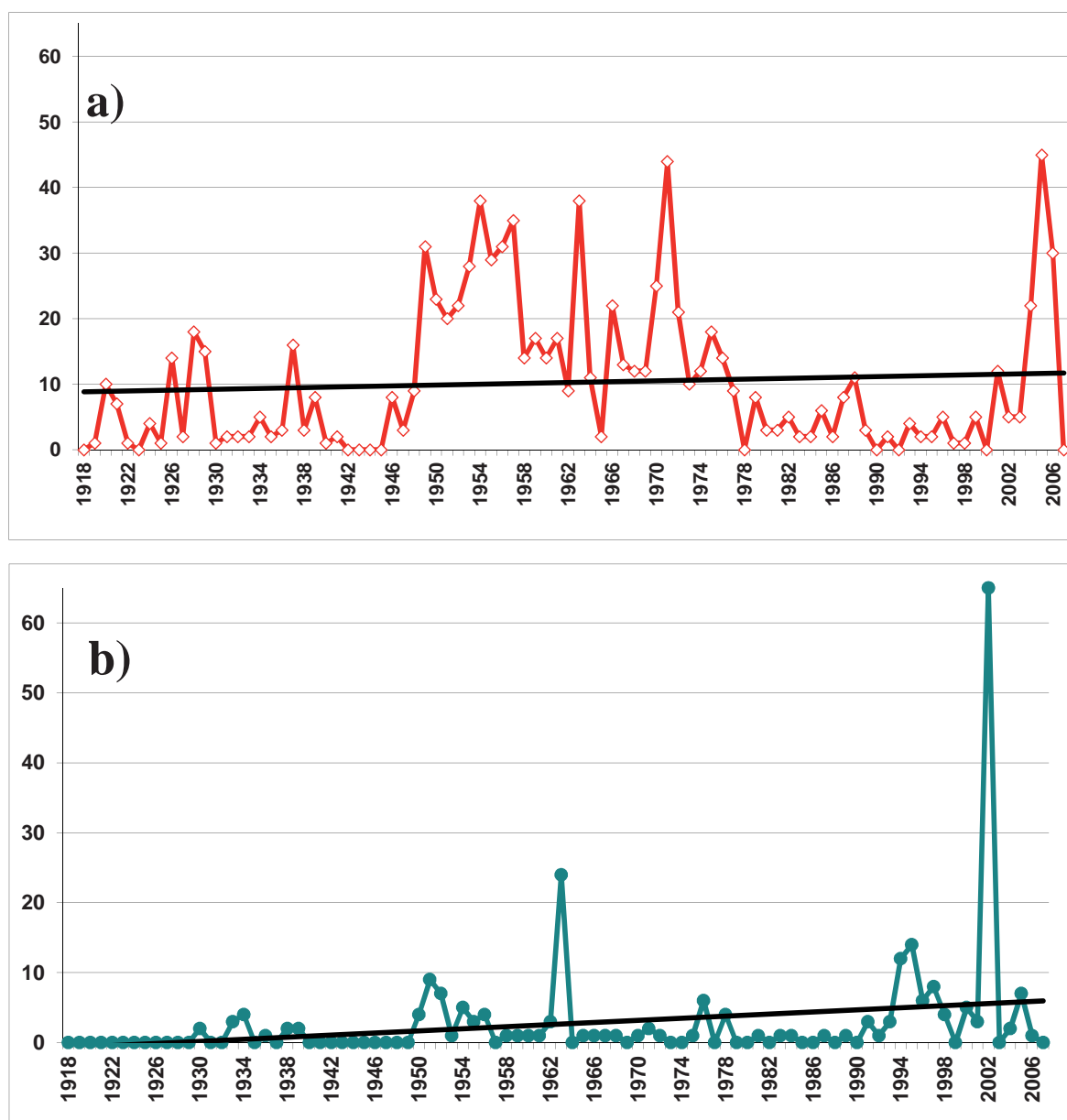


Figura 7 – Serie storiche e trend dell'occorrenza annuale di piene e frane. a) Piene, b) Frane.

mente, la natura marginale dei territori soggetti ad elevata pericolosità da frana rende molto difficile l'acquisizione di dati storici di sufficiente qualità sull'occorrenza di frane, se non per gli anni più recenti.

L'analisi dei trend temporali ha messo in evidenza una lenta tendenza alla diminuzione delle precipitazioni e della loro intensità e all'aumento dei giorni piovosi e delle temperature (Fig. 6), in accordo con quanto noto a scala globale e per l'Italia meridionale (EEA 2008; Polemio & Casarano 2008).

Il trend climatico, nel complesso, determina condizioni sfavorevoli per l'aumento della ricorrenza di piene e frane. Ciò nonostante i trend del numero annuale di eventi dannosi di piena e di frana sono positivi ovvero evidenziano una tendenza all'aumento di tali fenomeni (Fig. 7). I risultati mostrano quindi un ruolo tutt'altro che marginale svolto dall'uso del territorio, in cui il crescente utilizzo di aree a non trascurabile pericolosità idrogeologica non poco contribuisce alla mancata diminu-

zione della ricorrenza degli eventi di piena e di frana catastrofici.

## BIBLIOGRAFIA

- CASNEDI R. (1988), *La Fossa bradanica: origine, sedimentazione e migrazione*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 439-448.
- CNR-GNDCI (1999), *Database AVI degli eventi alluvionali occorsi su tutto il territorio nazionale dal 1930 al 1999*.
- D'ARGENIO B., PESCATORE T., SCANDONE P. (1973), *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Accademia Nazionale dei Lincei, 183, 49-72.
- EEA (2008), *Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment*. European Environment Agency Report, 4, [http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2008\\_4/](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4/), 2008.
- MINISTERO LL. PP. (1918), OSSERVAZIONI PLUVIOMETRICHE RACCOLTE A TUTTO L'ANNO 1915 DAL R. UFFICIO CENTRALE DI METEOROLOGIA E ORDINATE A CURA DEL PROF. FILIPPO EREDIA, Puglia.
- MINISTERO LL. PP. (1928), *Osservazioni pluviometriche raccolte a tutto l'anno 1915*. Pubbl. n.1 del Servizio Idrografico, Appendice al volume I,

Italia peninsulare e isole, ordinate a cura del Prof. Filippo Eredia.

- PETRUCCI O., PASQUA A. A. (2008), *The study of past damaging hydrogeological events for damage susceptibility zonation*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 881-892.
- POLEMIO M., CASARANO D. (2008), *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*. In: *Climate Change and Groundwater*, DRAGONI, W., SUKHUJA, B.S., (Eds.), Geological Society, London, Special Publications, 288, 39-51.
- POLEMIO M., PETRUCCI O. (2010), *Occurrence of landslide events and the role of climate in the twentieth century in Calabria, southern Italy*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 43, 1-14.
- POLEMIO M., SDAO F. (1996), *Landslide hazard and critical rainfall in southern Italy*, VII Int. Symp. on landslides, Norway, Balkema, Rotterdam, 1996, 847-852.
- RICCHETTI G., CIARANI N., LUPERTO SINNI E., MONGELLI F., PIERI, P. (1988), *Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'avampaese Apulo*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 57-82.
- SIMN (1919-1996), *Annali Idrologici*, Parte I. Sezione di Bari, Ministero dei Lavori Pubblici, Roma.